

# 淤泥质潮滩沉积周期性研究综述

龚小辉<sup>1 2</sup> 柏春广<sup>3</sup> 王 建<sup>2</sup>

(1. 江苏教育学院地理系, 江苏 南京 210013)

(2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

(3. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

**[摘要]** 淤泥质潮滩发育过程中所包含的从半日周期、半月周期到年周期和长周期的“潮滩循环”能为潮滩沉积环境及沉积速率的研究提供参考, 从而成为潮滩沉积研究的热点问题。随着野外工作的深入开展, 不同时间尺度的淤泥质潮滩沉积周期陆续得到揭示, 这一沉积特征的区域差异也更加清晰。潮滩沉积间断的存在为依据沉积的周期性来推算沉积速率设置了障碍。合理利用特定地段短时期内的连续沉积来研究古代的沉积速率和环境是潮滩沉积周期性研究的一个很有意义的课题。

**[关键词]** 淤泥质潮滩 沉积周期性 沉积间断

**[中图分类号]** P736.21 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2012)01-0117-05

## Review of Research on Sedimentary Periodicity of Tidal Mud Flat

Gong Xiaohui<sup>1 2</sup> Bai Chunguang<sup>3</sup> Wang Jian<sup>2</sup>

(1. Department of Geography, Jiangsu Institute of Education, Nanjing 210013, China)

(2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(3. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Both in ancient and modern tidal sedimentation, semidiurnal, semimonthly, annual and multi-year cycles of tidal mud flat have been widely revealed. As tidal cycle is very useful for research of the sedimentary environment and sedimentation rate, it has been one of the research hotspots in this field. With the increase of field work, the regional difference of the characteristic of sedimentary periodicities has been very clear. Diastems is a trouble for calculating the sedimentation rate. It is a sensible task to research the ancient sedimentation rate and sedimentary environment on the basis of short term continuous deposition in some area.

**Key words:** mud tidal flat, sedimentary periodicity, diastems

淤泥质潮滩主要是指分布在河口海岸潮间带由粘性细颗粒泥沙组成的滩地。我国淤泥质潮滩约占大陆海岸线总长的 1/4<sup>[1]</sup>。淤泥质潮滩沉积的研究开始于 20 世纪 60 年代, 经过近几十年的发展, 无论是地貌、沉积物的特征及其形成过程的观测, 还是沉积模式的探讨都取得了很大的进展。由于淤泥质潮滩中的沉积韵律层记录了潮汐周期的变化, 由潮汐周期可以推算出沉积时间和沉积速率, 并且由古潮汐韵律的研究还可推算出古地球、月球轨道参数, 因此研究者们一直对该领域的研究非常重视。本文拟就淤泥质潮滩沉积周期性的主要研究进展作一综述。

### 1 潮滩沉积周期性的揭示

潮汐作用的周期性特点使潮滩发育过程含有多种周期的波动, 表现在地形动态、沉积地貌组合上的冲刷与淤积状态交替出现, 形成包括了涨落潮周期、半月潮周期、年周期以及长周期的“潮滩循环”<sup>[2]</sup>。尽管

收稿日期: 2011-10-11.

基金项目: 中国近海海洋综合调查与评价项目( JS9080103)、国家自然科学基金( 40871010, 49601019)。

通讯联系人: 龚小辉, 硕士, 助教, 研究方向: 自然地理学。E-mail: gongxh2006@yahoo.com.cn

各时间尺度沉积的周期性都以研究者们实地野外观测资料为依据,然而由于沉积环境、沉积部位以及物源等方面的差异,淤泥质潮滩沉积中韵律层的成因机制的解释必然因空间差异而不同。

### 1.1 涨落潮周期

就潮滩沉积中的特征沉积构造——互层层理而言,Reineck<sup>[3]</sup>根据对北海潮滩的研究,认为涨落潮阶段相应的侵蚀期和高低潮憩流相应的回淤期,在沉积构造中留下侵蚀面及砂泥交替的纹层,即形成薄互层层理。任美镔等<sup>[4]</sup>通过对江苏王港地区的观测,提出高低潮憩流时间太短,不能沉积可供测量的泥层,薄互层层理的形成是因为大潮时滩面上沉积“砂”,小潮时沉积“泥”,从而形成了周期性的砂、泥沉积。任美镔<sup>[1]</sup>还特别指出:中国淤泥质潮滩沉积物中的互层层理,其粗粒层和细粒层主要都是粉砂级沉积物,它们主要是粗粉砂、中粉砂与细粉砂、极细粉砂的互层,只含少量粘土级颗粒( $<4\ \mu\text{m}$ )。如果我国也把 $<63\ \mu\text{m}$ 的沉积物均称为淤泥,则潮滩沉积物中的互层层理将无法显示出来。在对浙江象山大目涂淤泥质潮滩沉积的研究时,李炎等<sup>[5]</sup>发现薄互层层理的形成时间尺度因沉积地貌相带而异,在活跃的低滩,是半日周期的产物。王颖等<sup>[6]</sup>也曾指出潮滩沉积的特征结构水平纹层或“百页”状的砂-泥薄互层理,是往复的潮汐作用所成。通过对江苏中部东台市梁垛河闸附近潮滩沉积的观测,Wang等<sup>[7]</sup>认为一次潮水涨落可以形成一个砂泥互层。可见,尽管由于区域差异或研究者的解释有别,但大多数研究者们通过实测,认为薄互层层理为涨落潮周期的产物。

### 1.2 大小潮周期

除涨落潮周期之外,大小潮周期的沉积也有着广泛的实测与研究,具体有:李炎等<sup>[5]</sup>对大目涂淤泥质潮滩沉积在一个大小潮周期内的地形变化过程作了观测,其结论为:大潮到小潮阶段滩面冲刷,小潮到大潮阶段滩面回淤,地形变动主要发生在潮差迅速改变的阶段。Choi等<sup>[8]</sup>在韩国西海岸高潮滩中也发现了晚更新世的大小潮周期沉积记录。王建等<sup>[9]</sup>根据现场实地观测,认为江苏中部潮滩厘米级厚的厚砂泥互层层理为半月天文潮的产物。Stupples<sup>[10]</sup>对位于英格兰东南部罗姆尼湿地的晚全新世岩心中潮汐韵律层厚度的变化进行自相关和波谱分析,其结论为其中的5~8层的沉积为大小潮周期沉积。Storms等<sup>[11]</sup>对印度尼西亚的东加里曼丹岛马哈坎三角洲晚全新世沉积的研究中,根据计算的平均沉积速率,认为砂-泥互层层理为大小潮周期,而不是日潮汐周期沉积所形成。杨世伦等<sup>[12]</sup>则认为:长江口长兴、横沙岛的潮滩沉积中丰富的水平纹理和薄互层层理主要归因于沉积作用的潮周期变化。厚互层层理的形成主要是由于泥沙来源、大风浪周期或风向的季节性变化以及植物的季相变化。Deloffre<sup>[13]</sup>通过法国、英国等河口潮间带泥滩的研究发现了大小潮周期的沉积,并指出沉积具有不连续性 & 区域差异的特征。Archer<sup>[14]</sup>则利用潮站资料对大小潮周期的潮汐韵律进行了模拟。这些研究成果表明:尽管少数学者认为潮滩沉积中的韵律性层理可能与风浪等其他因素有关,但无论是在古代还是现代潮滩沉积中,大小潮周期普遍存在是一个不争的事实。

### 1.3 季节性 & 更长时间尺度的周期

关于潮滩沉积中的年以及更长时间尺度周期的沉积,相关文献中也有较多的描述和解释。任美镔等<sup>[4]</sup>曾研究了江苏王港地区海岸水位变化的年周期循环对淤泥质潮滩的作用。李炎等<sup>[5]</sup>指出浙江大目涂潮滩明显地存在着除半日周期、半月周期外的年周期和长周期的循环,并认为其中的季节性变化的影响因子有潮汐、波浪和泥沙条件。杨世伦<sup>[15]</sup>通过对潮滩沉积的研究,认为长江三角洲潮滩普遍具有季节性冲淤循环,这种循环与海面、潮差、风(浪)和岸外含沙量等多种因素的季节性变化有关。王建等<sup>[16]</sup>对江苏中部潮滩沉积的季节性判别方法作了研究。国外的学者在这一方面也做了不少工作。Cowan等<sup>[17]</sup>发现阿拉斯加峡湾潮滩沉积记录的砂-泥互层的层厚的变化能够很好地显示出半个月、一个月、双月以及年周期特征。Ryu等<sup>[18]</sup>通过对韩国西海岸南部半封闭的务安海湾潮滩沉积过程的研究认为:在冬季,潮滩发生弱淤积或中度侵蚀,而在夏季则普遍遭受强烈的侵蚀。Yang等<sup>[19]</sup>认为韩国西南海岸的开敞潮滩,夏季受潮汐作用控制,而冬季则受波浪作用控制,从而形成季节性的沉积变化。从这些研究结论中不难看出,潮滩沉积的季节以及更长时间尺度变化受潮汐作用以外的其他因素的影响明显。

## 2 沉积间断及其影响

邵虚生等<sup>[20]</sup>在对上海潮坪沉积的研究中曾指出,由很多个粗细两部分构成的韵律性层理可能是上海潮坪区常年低能期和大潮台风高能期交替作用的产物。许世远等<sup>[21]</sup>在对长江三角洲风暴沉积的研究时发现:在强台风暴潮期间,常态的潮坪沉积往往大规模地得到改造、破坏,局部或全部被风暴沉积所取代。李铁松等<sup>[22]</sup>也强调,大小潮沉积旋回的概念,来自发育大型砂波的潮道的研究,其结论适用于潮间带和潮下带的潮汐水道。但是,由于风暴的影响,难以应用于非潮道的潮坪,特别是面向开敞外海的长江三角洲一类的潮坪。李从先等<sup>[23]</sup>通过对现代潮坪的观测及其定量分析进一步指出,潮汐纹层在形成过程中即包含着改造,所保留的纹层占应形成数的10%,其余90%以上被侵蚀。包含众多纹层并有砂质单层和泥质单层之分的小型层序是风暴和平静天气的产物,与大小潮周期无关。小型层序在地层中保留的数量不到应生成数的10%,其余90%被改造。小型层序被侵蚀,其中的纹层随之消失,致使潮坪层序中保存的纹层数仅为应形成数的0.2%。被改造的纹层和单层留下的仅是侵蚀面,即小间断。潮坪层序中保存的纹层数较应形成数低3个数量级,潮流、波浪均可侵蚀改造它们。

值得一提的是,在对杭州湾北岸、长江口南岸部分潮滩的泥沙输移及沉积动力环境研究中,陈卫跃<sup>[24]</sup>发现:暴风浪侵袭潮滩时,滩面总体上以侵蚀为主,侵蚀幅度及范围与暴风浪强度、潮水位高度及持续时间有关。一般情况下,潮滩中下部为强烈侵蚀部位,侵蚀幅度一般可达数厘米,最大局部侵蚀可达数十厘米,但在高潮滩上部及盐沼带出现不同程度的淤积。与这一结论相一致,王建等<sup>[9]</sup>在江苏东台梁垛河闸附近现场观测9711号台风对滩面的影响时,也观测到风暴潮总体上造成滩面严重侵蚀,但在潮滩上部存在一个50~100m宽的淤积带,淤积厚度1~3cm,平均2cm,其底面平整,未见冲刷面。侵蚀带与淤积带之间是一个过渡带,没有侵蚀也没有淤积。此外,Regnauld<sup>[25]</sup>等在研究风暴对法国西海岸地貌的影响中指出,在海岸的一些部位风暴产生了侵蚀,但在其他一些部位可能产生侵蚀,也可能形成沉积或没有影响,这与波浪的变化有关。

鉴于沉积间断对潮滩沉积周期性研究的影响,范代读等<sup>[26,27]</sup>在对长江三角洲泥质潮坪沉积的韵律性及保存率研究时,指出潮滩沉积的研究中普遍存在着以潮汐层偶的厚度与层数的变化特征,提取沉积物形成时的古潮汐信息,由潮汐周期推算沉积时间和沉积率以及古地球、月球轨道参数。而这些研究往往是从钻孔、露头或探槽中揭露的潮汐韵律层来推断的,并将古潮汐韵律剖面解析出来的层偶厚度变化特征直接与现代纯天文潮汐变化曲线进行对比,缺乏现场实际观测沉积物特征与沉积动力之间的关系。

在沉积速率等的模拟方面,研究者们也开展了相关的工作。为克服前人研究中通过现场测量毛沉积速率和净沉积速率的方法获得的保存潜力的空间分辨率较低的不足,Gao<sup>[28]</sup>提出了新的潮滩沉积保存潜力的模拟方法,在其模型中考虑了许多潮滩沉积体系的几何参数和沉积动力体系,这为今后相关的理论研究及模型的建立提供了很好的参考。

## 3 沉积周期性特征的应用

由于波浪、地貌等非周期性因素的作用,潮滩沉积的连续性受到破坏,在实际的研究中较难找到很完整的连续沉积剖面。换言之,古代潮汐韵律层记录的古环境信息往往只延续较短的一段时间,但在高分辨率古环境研究中,其魅力在于各个地质历史时期皆有分布,而且普遍存在于不同区域,因而具有很好的应用价值。Cowan等<sup>[17]</sup>以阿拉斯加峡湾沉积记录的砂-泥互层的层厚的变化能够很好地显示出多时间尺度的周期特征为依据,指出现代深水潮汐韵律可以用来验证古代沉积韵律的解释,同时这一韵律也为高纬地区气候变化研究提供了一个高分辨率的测年工具。王建等<sup>[29]</sup>在江苏海岸野外实地观测的基础上提出,在某段不长的时间内(如几个月到几年),在某些地点或部位可能会存在着相对连续的潮滩沉积序列,其水平互层层理发育完整,并且记录有风暴潮沉积事件,可用于过去风暴潮发生频率的估算。柏春广等<sup>[30]</sup>通过对采集于江苏省盐城市上冈镇的3个全新世柱状沉积剖面中一段连续沉积的季节性判别,推算了其中所包含的风暴潮沉积的频率。Plater等<sup>[31]</sup>依据英格兰东南部沉积物粒径和层厚的变化与潮汐周期之间的关

系对沉积速率进行了推算.可见 利用潮滩沉积的周期性来研究古代潮滩的沉积环境和速率必然受到时间和空间因素的制约,但存在于特定部位的短期内的周期性沉积对于这方面的研究是一个很好的补充.

## 4 展望

以上综述了近几十年来潮滩沉积周期性研究的主要进展.尽管过去的半个多世纪在潮滩沉积的周期性的实地观测及沉积间断等方面的研究取得了许多成就,但以下几个方面的工作仍需进一步加强:

(1) 潮滩沉积的韵律是否与所经历的周期性因素对等是潮滩沉积周期研究的核心和基本问题,而这一问题的解决需要有更多的野外的实地观测工作为基础.尽管这一方面工作开展的难度较大,但必须加强.

(2) 为进一步弄清潮滩沉积的保存状况,需加强非周期性的动力因素如台风、冬季风暴等对潮滩沉积周期性的作用的观测与研究.

(3) 在进行潮滩沉积周期性特征的区域差异研究的同时,还需对同区域潮滩的不同微地貌部位之间的沉积差异进行观测与调查.

(4) 加强水动力条件与沉积特征之间关系的室内模拟以及模型的建立和修正方面的工作.

## [参考文献]

- [1] 任美镔. 中国淤泥质潮滩沉积研究的若干问题[J]. 热带海洋, 1985, 4(2): 6-14.
- [2] 夏小明, 谢钦春, 李炎, 等. 台湾淤泥质潮滩的周期变化[J]. 海洋学报, 1997, 19(4): 99-108.
- [3] Reineck H E. Layered sediments of tidal flats, beaches, and shelf bottoms of the North Sea [M]// Lauff G H. Estuaries. Washington D C: American Association for the Advancement of Science, 1967: 191-206.
- [4] 任美镔, 张忍顺, 杨巨海. 江苏王港地区淤泥质潮滩的沉积作用[J]. 海洋通报, 1984, 3(1): 40-54.
- [5] 李炎, 张立人, 谢钦春. 浙江象山大目涂淤泥质潮滩发育的周期性[J]. 海洋学报, 1987, 9(6): 725-734.
- [6] 王颖, 朱大奎, 曹桂云. 潮滩沉积环境与岩相对比研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 539-546.
- [7] Wang Jian, Bai Chunguang, Xu Yonghui, et al. Tidal couplet formation and preservation, and criteria for discriminating storm-surge sedimentation on the tidal flats of central Jiangsu Province, China [J]. Journal of Coastal Research, 2010, 26(5): 976-981.
- [8] Choi K S, Park Y A. Late pleistocene silty tidal rhythmites in the macrotidal flat between Youngjong and Yongyou Islands, west coast of Korea [J]. Marine Geology, 2000, 167: 231-241.
- [9] 王建, 柏春广, 徐永辉. 江苏中部淤泥质潮滩潮汐层理成因机理和风暴沉积判别标志[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 562-569.
- [10] Stupples P. Tidal cycles preserved in late Holocene tidal rhythmites, the Wainway Channel, Romney Marsh, southeast England [J]. Marine Geology, 2002, 182: 231-246.
- [11] Storms J E A, Hoogendoorn R M H, Dam R A C, et al. Late-Holocene evolution of the Mahakam delta, East Kalimantan, Indonesia [J]. Sedimentary Geology, 2005, 180: 149-166.
- [12] 杨世伦, 徐海根. 长江口长兴、横沙岛潮滩沉积特征及其影响机制[J]. 地理学报, 1994, 49(5): 449-456.
- [13] Deloffre J, Verney R, Lafite R, et al. Sedimentation on intertidal mudflats in the lower part of macrotidal estuaries: Sedimentation rhythms and their preservation [J]. Marine Geology, 2007, 241: 19-32.
- [14] Archer A W. Modeling of cyclic tidal rhythmites based on a range of diurnal to semidiurnal tidal-station data [J]. Marine Geology, 1995, 123: 1-10.
- [15] 杨世伦. 长江三角洲潮滩季节性冲淤循环的多因子分析[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 123-130.
- [16] 王建, 肖家仪, 柏春广, 等. 江苏中部潮滩沉积的季节性判别[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 31-34.
- [17] Cowan E A, Cai J, Powell R D, et al. Modern tidal rhythmites deposited in a deep-water estuary [J]. Geo-Marine Letters, 1998, 18: 40-48.
- [18] Ryu S O, Lee H J, Cang J H. Seasonal cycle of sedimentary process on mesotidal flats in the semienclosed Muan Bay, southern west coast of Korea: culminating summertime erosion [J]. Continental Shelf Research, 2004, 24: 137-147.
- [19] Yang B C, Dalrymple R W, Chun S S. Sedimentation on a wave-dominated, open-coast tidal flat, south-western Korea:

- summer tidal flat—winter shoreface [J]. *Sedimentology*, 2005, 52: 235-252.
- [20] 邵虚生,严钦尚. 上海潮坪沉积 [J]. *地理学报*, 1982, 37(3): 241-249.
- [21] 许世远,邵虚生,陈中原,等. 长江三角洲风暴潮沉积系列研究 [J]. *中国科学(B辑)*, 1989, 19(7): 767-773.
- [22] 李铁松,李从先. 潮坪沉积与事件 [J]. *科学通报*, 1993, 38(19): 1778-1781.
- [23] 李从先,王平,范代读,等. 潮汐沉积率与沉积间断 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(2): 11-18.
- [24] 陈卫跃. 潮滩泥沙输移及沉积动力环境——以杭州湾北岸、长江口南岸部分潮滩为例 [J]. *海洋学报*, 1991, 13(6): 813-821.
- [25] Regnauld H, Pirazzoli P A, Morvan G, et al. Impacts of storms and evolution of the coastline in western France [J]. *Marine Geology*, 2004, 210: 325-337.
- [26] 范代读,李从先. 长江三角洲泥质潮坪沉积的韵律性及保存率 [J]. *海洋通报*, 2000, 19(6): 34-41.
- [27] 范代读,李从先,邓兵,等. 潮汐周期在潮坪沉积中的记录 [J]. *同济大学学报*, 2002, 30(3): 281-285.
- [28] Gao S. Modeling the preservation potential of tidal flat sedimentary records, Jiangsu coast, eastern China [J]. *Continental Shelf Research*, 2009, 29: 1927-1936.
- [29] 王建,徐永辉,孙爱梅,等. 江苏中部潮汐层理所记录的环境信息研究 [J]. *第四纪研究*, 1999, 6: 570.
- [30] 柏春广,王建,徐永辉. 江苏中部海岸全新世中期温暖期风暴潮频率的研究 [J]. *海洋学报*, 2006, 28(6): 78-85.
- [31] Plater A J, Stupples P, Roberts H M. Evidence of episodic coastal during the Late Holocene: the Dungeness barrier complex, Southeast England [J]. *Geomorphology*, 2009, 104: 47-58.

[责任编辑:丁 蓉]